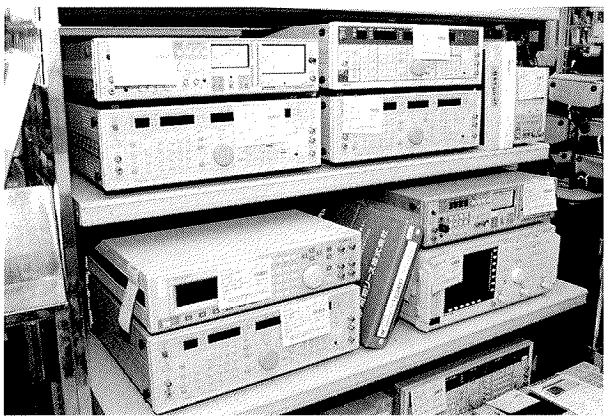
特集

測定で深まる自作オーディオの楽しみ



東洋計測器レポート

テスターの次に購入したい測定器　MJ編集部

性能を把握し，さらなる技術向上を目指す　征矢　進

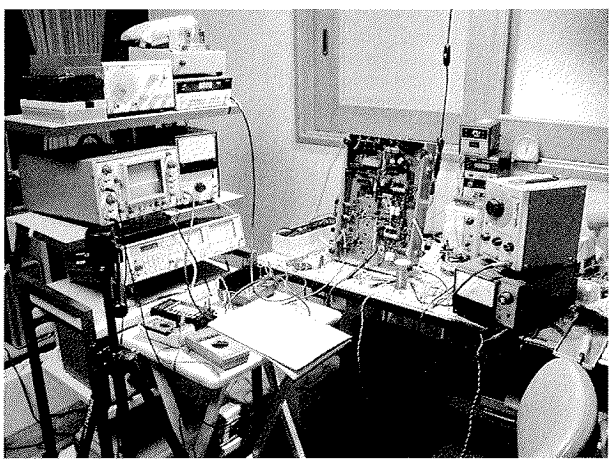
真空管アンプ測定の必須項目とノウハウ　柳沢正史

真空管アンプ製作にとって必要な測定　岩村保雄

作品の完成度を高めるための測定　栗原信義

パソコンによるスピーカーシステムの測定　新井悠一

アンプが向かうべき高忠実度再生へのコンパス　黒川達夫



性能を把握し，さらなる技術向上を目指す

征矢　進　SOYA Susumu

パーツ集めには時間がかかりますが，完成した暁にはどんな音が出るか想像するだけでも心が躍る，そんな不思議な力がアンプ作りにはあります．何台か製作すると，アンプ作りのコツやノウハウ，また回路の意味するところがわかってきて，さらに楽しさが膨らんできます．

しかしながら，いくら良い音がするアンプができたとしても，作りっぱなしではいささか心もとないと思います．しょせん個々で楽しむ趣味の世界ですので，自分の耳とテスターだけが頼りでも一向に構わないのですが，自作したアンプのデータを取り，数値化またグラフ化することで，アンプの性能のみならず，改良もしくは改善すべき点も明白になってくるものです．またそれを繰り返すことで，知らず知らずのうちに技術も向上してきます．したがって，少なくとも低周波発振器，ミリボルトメーター，オシロスコープは揃えたいものです．

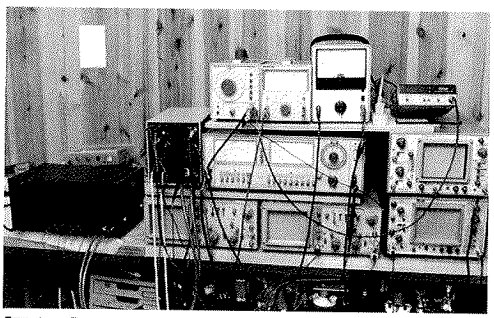
私の測定装置，また測定方法も併せてご紹介しようと思います．なにぶんにも現用の測定器はかなり以前から使用している古いものですが，数値化できるツール（物差し）がなければ，ヘッドライトが切れたまま，不安という荷物を載せて，暗闇の中で車を運転するようなものだと思います．

写真１は測定装置の全景，図１はそのブロックダイヤグラムです．使用している測定器は新品だけではなく，中古品も購入していますが，誤差は少ないことを確認してあります．

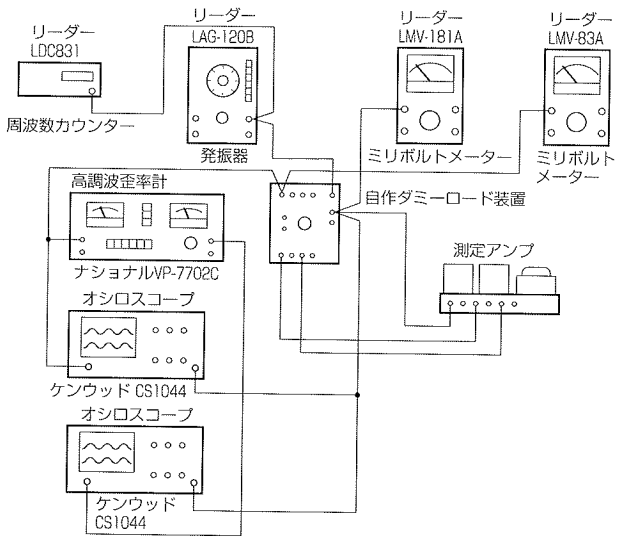
まず発振器は，リーダーのLAG-120Bです．周波数カウンターと併用して使用していますが，発振周波数は目盛りとよく一致しています．残留歪率は0.05%／1kHz程度となっていて，真空管アンプを測定するには十分なスペックを持っています．ミリボルトメーターは２台使用し，入力電圧と出力電圧を同時に観測しています．このようにすれば，電圧計測のための切り換え作業がなくなり，すばやく測定できて便利です．

オシロスコープは２現象／40MHzのケンウッドCS-1044を２台使用しています．１台のオシロスコープで入力波形と出力波形を，もう１台で入力波形と歪率計からの出力波形を観測していますが，歪率計を使用しない場合には１台で十分でしょう．

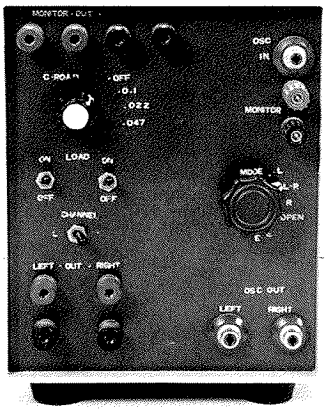
高調波歪率計はナショナルのVP-7702Cを使用しています．この歪率計の長所は，オーディオ帯域すべての周波数を0.01%でカバーする能力を有することもありますが，何といっても，キャリブレーションを取る必要がなく，全自動で高調波歪率が計測できることが大きな特徴で，実際に使用してみますと，その便利さを実感できます．以上が私の測定



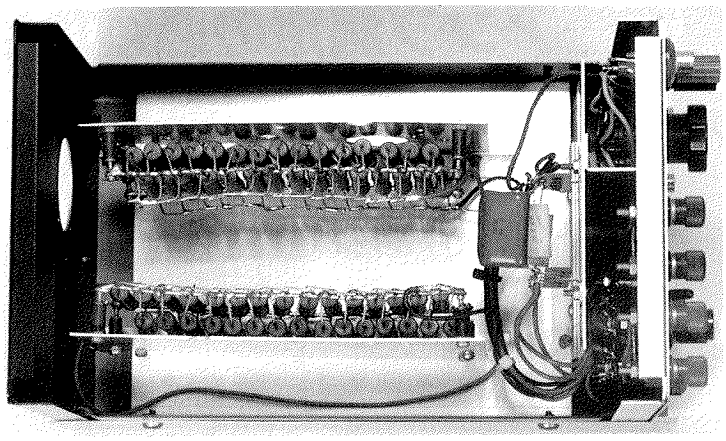
［写真１］　本誌発表のアンプ群を測定しているシステム．右のオシロスコープ２台は予備



［図１］　アンプ測定のブロックダイヤグラム



［写真２］ 入力信号切り換え付きダミーロード．アンプの入力信号切り換え，ダミーロード，負荷容量切り換えなどをワンボックスに収容し，測定の便を図っている



［写真３］ 右端の信号切り換え部と左のダミーロード部をシールド板で分離．ダミー抵抗は１チャンネルあたり240Ω/5Wを30本並列にし，150Wまで対応

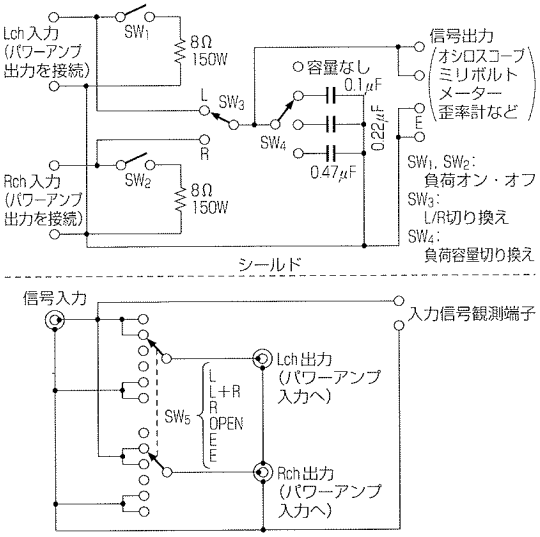
装置のラインアップです．

今回はせっかくの機会ですので，読者の皆様にぜひ知っていただきたい便利なツールとして，自作の入力信号切り換え付きダミーロード装置をご紹介したいと思います．**写真２**はパネル面，**写真３**はその内部，**図２**は回路図です．スイッチの切り換えで，パワーアンプの諸特性を計測しやすいように設計してあります．

アンプの入力信号は，Lch，Lch+Rch，Rch，オープン，接地（ショート）という具合に切り換えることができます．クロストークの計測や，B級アンプのようにB電流の変化が激しいアンプの測定，また残留ノイズの計測に便利です．

アンプ出力に接続するダミーロードは，LとRを単独にオン・オフできるようにしてありますが，これは負荷オープン時の方形波の観測や，ダンピングファクターの測定に使います．また，容量負荷および純容量負荷の測定ができるように，容量なし，0.1μF，0.22μF，0.47μFの切り換えを設けてあります．L／R切り換えスイッチも設けてありますので，どちらのチャンネルも即座に確認できます．パワーアンプを製作する際，この方形波再現テストはぜひ実行したいものです．

なおダミー抵抗は，240Ω/5Wの酸化金属皮膜抵抗を30本並列にしたものです．ここで発生する容量とインダクタンスが気になるところです．実測しますと容量は800pF程度でした．インダクタンスは計測しませんでしたが，念のため市販のDCアンプを使用して，方形波再現波形を観測したところ，入力信号に対してほとんど相似で，これなら問題ないと判断しました．



［図２］ 入力信号切り換え付きダミーロード回路

私の使用しているダミーロードは20年ほど昔に製作したものですので，もう少し改善する余地はあると思います．以前はなかなか入手できなかったダミー抵抗も現在では100W程度の無誘導型が入手できるようです．トグルスイッチやロータリースイッチは接点容量の大きなもののほうが安心できるでしょう．追試される方は，その点に気をつけて製作すれば，私より高性能な入力切り換え付きダミーロード装置を手に入れることができるでしょう．

最後にくどいようですが，自作アンプを趣味にしているのであれば，特性と音質の関係を自分なりに認識し，アンプ作りの腕を上げるためにも，アンプが完成した後はぜひ測定を行っていただきたいと思います．

真空管アンプ測定の必須項目とノウハウ

柳沢正史 YANAGISAWA Masashi

入力換算雑音レベル

アンプ内部で発生する雑音は通常S/N（信号対雑音比）で表す．

$S/N = 20 \times \mathrm{Log}\ (V_s/V_n)$〔dB〕

（V_s：信号電圧，V_n：雑音電圧）

しかし，パワーアンプなどではS/Nよりも雑音電圧そのものを表記することが多い．スピーカーの能率などによっても違ってくるが，経験上雑音電圧（残留雑音）でおおよその見当が付くし，直観的にわかりやすいからだ．

S/Nにも問題点はある．アンプの増幅度によって雑音電圧の値が変わってしまうことだ．つまり，増幅度の低いアンプほど雑音が小さくなりS/Nはよくなってしまう．そこで考え出されたのが，アンプの増幅度に因らない入力換算雑音レベルである．

入力換算雑音レベルは，仮に増幅度20倍のアンプの雑音電圧が0.3mVだった場合，0.3mVの雑音を得るのに必要な雑音入力電圧を求める方法である．雑音入力電圧V_{nin}は増幅度が20倍だから，

$V_{nin} = 0.3\mathrm{mV} \div 20 = 0.015\mathrm{mV}$

$= 0.000015$〔V〕

入力換算雑音レベルは，

$20 \times \mathrm{Log}\ V_{nin} = 20 \times \mathrm{Log}\ 0.000015$

$\fallingdotseq -96.5\mathrm{dBV}$

となる．

入力換算雑音レベルは，雑音に対してシビアな，マイクアンプやMCカートリッジのヘッドアンプなどの表記に使われる．次に，筆者のニュービスタ管6CW4を使用したMCカートリッジ用ヘッドアンプ（本誌2007年5，6月号）の入力換算雑音レベルを計算してみる．増幅度10倍，雑音電圧0.05mVから，

$V_{nin} = 0.05 \div 10 = 0.005\mathrm{mV}$

入力換算雑音レベルは，

$20 \times \mathrm{Log}0.000005$〔V〕$= -106\mathrm{dBV}$

となった．−120dBVぐらいは欲しいところだが，6CW4も特別なローノイズ管ではないのでこんなところである．

ダンピングファクターの求め方

現在使われているスピーカーのほとんどが，定電圧駆動を前提としている．理想的にはアンプの出力インピーダンスが限りなくゼロに近ければ，負荷インピーダンスに関わらず一定電圧を供給できるはずだ．これは，スピーカーの動きによる逆起電力を吸収し，大きな制動を掛けられることを意味する．

ダンピングファクター（以下DF）とは，つまりこの制動力にほかならない．DFは下記の式で表わされる．

$DF = Z \div Z_o$

Z：SPのインピーダンス

Z_o：アンプの出力インピーダンス

アンプの出力インピーダンスの測定方法には「ON-OFF法」と「電流注入法」がある．「ON-OFF法」は，簡単なのが利点だが半導体アンプのように出力インピーダンスが極めて低い場合には，負荷のオン・オフによる出力電圧差を読み取ることが難しくなる．一方，「電流注入法」は正確な値を求める方法としてはよいが，もう1台電流注入用のアンプ（なるべく低い出力インピーダンスでパワーのあるアンプ）が必要となり仕掛けが大掛かりになる．ここでは，真空管アンプの測定でよく使われる「ON-OFF法」について説明する．**図1**は「ON-OFF法」の例だが，抵抗1本でできる最も簡単な方法である．

図1のSWがOFFの場合の出力電圧をV_1とし，SWがONの場合をV_2とする．V_1は出力インピーダンスZ_oによる電圧だが，V_2は出力インピーダンスZ_oと8Ωとの並列抵抗Z_pによる電圧であるから，以下の式が成り立つ．

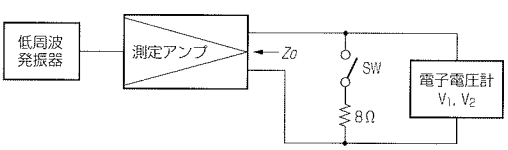
$Z_p = Z_o \times 8 \div (Z_o + 8)$

$V_1 \div V_2 = Z_o \div Z_p$

以上より，アンプの出力インピーダンスZoは，

$Z_o = 8 \times (V_1 - V_2) \div V_2$

DFは，



V_1＝SW/OFF　V_2＝SW/ON

$Z_o = 8 \times (V_1 - V_2) / V_2$（アンプの出力インピーダンス）

[図1] ON-OFF法による出力インピーダンスの測定